Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 4, Sep.-Dec. 2021, p. 599-612

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۴، مهر – آبان ۱۴۰۰، ص. ۶۱۲-۵۹۹

مقاله پژوهشی

واکاوی تغییرپذیری طول فصل رشد و درجه-روزهای رشد محصولات کشاورزی در مناطق مرتفع و ساحلی

سید فاضل ضیائی اصل[۱]- علی اکبر سبزی پرور[۲]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۱

چکیده

پایداری در تولید به عوامل گوناگونی وابسته است. یکی از مهمترین عواملی که پایداری در تولید را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث افزایش یا کاهش عملکرد محصولات کشاورزی می‌گردد، عوامل محیطی به‌ویژه عوامل اقلیمی می‌باشد. رشد و نمو و گذر از مراحل فنولوژی گیاهان، تا حد زیادی به‌واسطه دمای پایه (T_b) و میزان تجمع درجه-روزهای رشد (GDD) در طول فصل رشد (GSL) تنظیم می‌شود. در این پژوهش شاخص‌های کشاورزی GDD و GSL طی سال‌های زراعی ۱۳۳۸– ۱۳۳۷ تا ۱۳۹۷-۱۳۹۶ بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر اساس دمای روزانه همگن ۲۷ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی نواحی مرتفع و ساحلی کشور محاسبه شد. با استفاده از آزمون من-کندال، روند تغییرات GDD و GSL تحت برنامه R استخراج و تحلیل شد. نتایج نشان داد که شاخص GSL برای آستانه‌های دمایی صفر و ۵ درجه سانتی‌گراد در دوره‌های آماری ۳۰ ساله اول (۱۳۳۸-۱۳۶۷) و ۳۰ ساله دوم (۱۳۶۸-۱۳۹۷) تغییرات کمی را شاهد بوده است، ولی برای دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد در ۱۱ ایستگاه دارای روندی معنادار بود. میزان انحراف از میانگین GSL در نواحی ساحلی بیشتر از نواحی مرتفع بود. این روند افزایشی در نواحی ساحلی از دهه ۵۰ و در نواحی مرتفع از دهه ۷۰ شمسی آغاز و تاکنون ادامه دارد. در این پژوهش مجموع سالانه GDD در دوره آماری سی‌ساله اول حدود ۴۱ درصد ایستگاه‌ها روند معنادار افزایشی را تجربه نمودند، در حالی‌که برای سی سال دوم به دلیل شتابگیری سیگنال‌های تغییر اقلیم روند افزایشی GDD به ۹۳ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه گسترش یافت.

واژه‌های کلیدی: آزمون من-کندال، آستانه‌های دمایی، تحلیل روند، تغییر اقلیم، واحدهای گرمایی

مقدمه

اهمیت تولیدات کشاورزی در امنیت غذایی و اشتغال و همچنین وابستگی بسیار بالای بخش کشاورزی به آب‌وهوا و تغییرات آن و از طرفی دیگر وجود تهدید عمده تغییر اقلیم برای آینده، موجب شده تا محققان مختلف همواره بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر بخش کشاورزی را در دستور کار قرار بدهند (۱۶ و ۳۳). دما مهم‌ترین فاکتور تعیین‌کننده میزان رشد و نمو و تولید گیاهان است و تمام فرآیندهای بیولوژیکی به دما وابسته است (۳۵). افزایش میانگین دمای کره زمین و تغییرات آن نمایه‌ای از تغییرات اقلیمی است که در همه نظریه‌های تغییر اقلیم به آن توجه شده است. در میان این افزایش جهانی دمای هوا، بسیاری از تحقیقات فنولوژیکی، هواشناسی و ماهواره‌ای از افزایش درجه-روز رشد[۳] و طول فصل رویشی[۴] ناشی از افزایش دما در مناطق شمالی در طی قرن بیستم خبر می‌دهند (۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۲۵، ۲۷ و ۲۸). از سوی دیگر پیش‌نگری وضعیت اقلیمی آینده و تأثیر آن بر روی محصولات کشاورزی (۱، ۲، ۴، ۶، ۷، ۱۱،۱۵، ۲۱، ۲۳ و ۲۴) مورد مطالعه قرار گرفته است. یکی از شاخص‌های اقلیم کشاورزی که نقش عمده‌ای در مراحل تکامل و رشد گیاه بر عهده دارد، پارامتر GDD مورد نیاز گیاه است (۱۸). در این پژوهش به واکاوی روند تغییرات GSL و تغییرات GDD مورد نیاز گیاهان زراعی در نواحی

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
(*- نویسنده مسئول: Email: swsabzi@basu.ac.ir)
DOI: 10.22067/JSW.2021.69480.1041

3- Growing Degree-Day
4- Growing Season Length

ساحلی و مرتفع، از داده‌های مشاهداتی گذشته پرداخته شده است. در ایران مطالعاتی در زمینه پهنه‌بندی GDD و GSL انجام شده است (۱۳، ۲۹، ۳۷، ۳۸). میزان تغییرات مجموع GDD بر مبنای ۱۰ درجه سانتی‌گراد (GDD_{10}) در طول فصل رشد در ایران نشان‌دهنده تغییرات بیشتر آن‌ها نسبت به مجموع GDD بر مبنای پنج درجه سانتی‌گراد (GDD_5) بوده همچنین GSL از جنوب به شمال و از شرق به غرب کشور کاهش داشته است (۲۶). مشخص شده است طی دوره ۱۹۶۲-۲۰۰۴ در ایران شروع دوره رشد زودتر و پایان آن با تأخیر همراه بوده که به افزایش GSL منجر شده است (۲۲). بررسی روند تغییرات GDD در کشور نشان‌دهنده تغییرات بیشتر در سری‌های مربوط به GDD_{10} بود است (۲۷).

مطالعه‌ای در اروپا به بررسی ارتباط بین تغییرات سالانه و دوره‌های فصل رشد بر پایه تغییرات دمای هوا پرداخته است. نتایج پژوهش نشان داد با افزایش ۰/۸ درجه سانتی‌گرادی متوسط دما در دهه ۱۹۹۸ -۱۹۸۹ در اروپا، فصل رشد ۸ روز زودتر آغاز شد (۵). ارزیابی تغییرات GSL در قرن اخیر ارتباط افزایش آن با گرمایش جهانی را مشخص کرده است (۱۹). پژوهشی در کشور چین نشان داده است که طی دو دهه (۲۰۰۰-۱۹۸۱) تغییرات دما، فنولوژی محصولات را تغییر داده و بر بازدهی آن‌ها تأثیر داشته است (۳۴). یافته‌های مطالعه دیگری نشان داده است که طی دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۳ در بخش‌های شرقی و مرکزی فلات تبت GSL حدود ۱۷ روز افزایش یافته است (۲۰). در مطالعه‌ای GDD در لهستان و تغییرپذیری آن‌ها در دوره تغییر شرایط حرارتی در اروپا مورد ارزیابی واقع شده است و افزایش GDD را معلول افزایش GSL دانسته است (۳۶). در پژوهشی تغییرات GDD و GSL در دوره آماری ۱۹۶۰-۲۰۱۱ در چین مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها نشان‌دهنده افزایش ۲۱۹ تا ۴۰۰ درجه روز در GDD طی این مدت و آغاز زودتر و خاتمه دیرتر فصل رشد را به دنبال داشته است (۳۸).

در پژوهش حاضر، تلاش شده است ضمن بهره‌گیری از تجربیات و روش‌های مورد استفاده در تحقیقات خارجی و داخلی، با تقسیم دوره آماری ۶۰ ساله ایستگاه‌های مورد مطالعه به دو دوره ۳۰ ساله، به بررسی و مقایسه میزان روند تغییرات تاریخ آغاز و خاتمه فصل رشد، GSL و GDD مربوطه در این دو دوره بر اساس آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد در نواحی مرتفع و نواحی ساحلی کشور پرداخته و پهنه‌بندی آن‌ها ترسیم شده است.

مواد و روش‌ها

الف) داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش از داده‌های دمای روزانه ۲۷ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کشور شامل ۱۹ ایستگاه در نواحی مرتفع (با ارتفاع بالاتر از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا) و ۸ ایستگاه در نواحی ساحلی در دوره آماری ۶۰ ساله (۱۳۳۸-۱۳۹۷) استفاده شد. نقشه موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

خلاءهای آماری با روش خودهمبستگی بازسازی شد. دوره آماری ۶۰ ساله مورد اشاره به دو دوره ۳۰ ساله اول (۱۳۳۸-۱۳۶۷) و ۳۰ ساله دوم (۱۳۶۸-۱۳۹۷) تقسیم شد و در هر دو دوره مورد اشاره ویژگی‌های آماری GSL و GDD در سه آستانه دمایی صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد در مناطق ساحلی و مرتفع محاسبه گردید. میزان GDD فصل رشد و مجموع GDD سال‌های زراعی، بر مبنای سه آستانه دمایی صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد محاسبه و استخراج شد. میزان GDD در طول فصل رشد با استفاده از کدبندی روز ژولیوسی[1](اول ژانویه با کد یک و ۳۱ دسامبر با کد ۳۶۵) استخراج گردید. روند داده‌ها توسط آزمون من- کندال[2] در محیط برنامه R مورد آزمون واقع شد و سری‌های زمانی که با سطح معناداری پنج درصد و یک درصد دارای تغییر یا روند بودند به همراه نوع روند و شیب تغییرات شناسایی شدند.

ب) روش پژوهش

تعاریف مختلف طول فصل رشد (GSL)

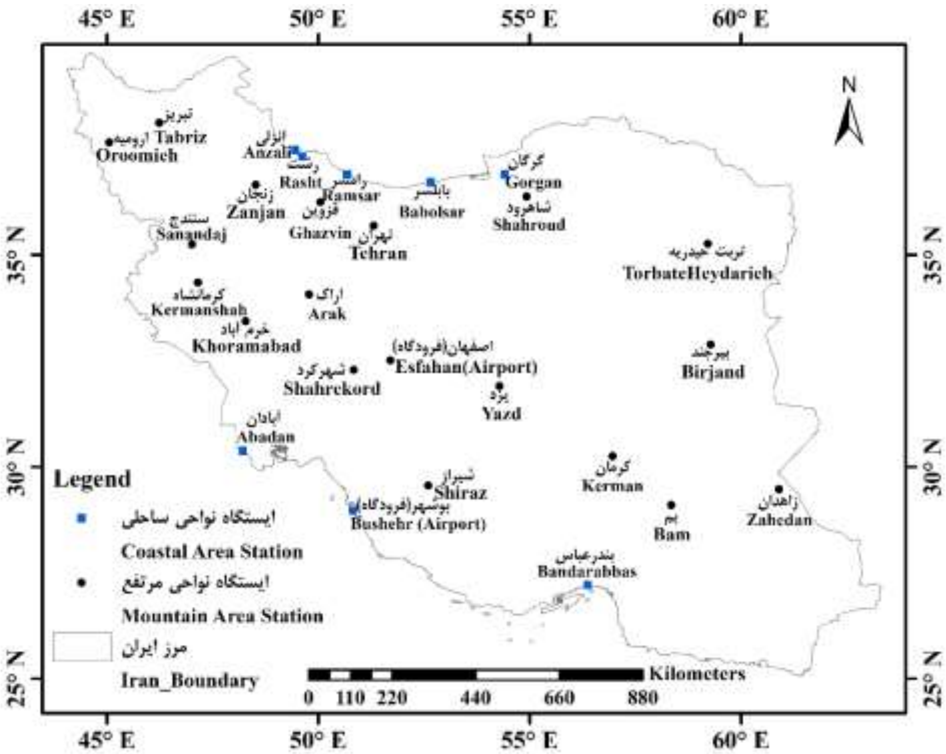
طول فصل رشد تابعی از دماست. تعاریف مختلفی از طول فصل رشد در تحقیقات انجام گرفته ذکر می‌شود که تشابه زیادی بین آن‌ها وجود دارد. سه تعریف زیر از جمله این تعاریف است:

الف) در آمریکا و کانادا طول فصل رشد معمولاً عبارت است از تعداد روزهای ما بین آخرین و اولین یخبندان (دمای شبانه‌روزی صفر درجه سانتی‌گراد و کمتر) که عموماً حد فاصل ماه‌های می تا اکتبر است (۳۰).

ب) در اکثر مناطق اروپا طول فصل رشد عبارت است از متوسط تعداد روزهایی سال، که میانگین دمای شبانه‌روزی آن حداقل پنج درجه سانتی‌گراد و در برخی مناطق شش درجه سانتی‌گراد است. این دوره عموماً بین ماه‌های آوریل تا اکتبر است؛ گرچه برحسب عرض جغرافیایی و ارتفاع تغییرات چشمگیری دارد.

ج) در انگلستان شروع فصل رشد زمانی است که متوسط دمای هوا در پنج روز متوالی از پنج درجه سانتی‌گراد تجاوز کند و خاتمه آن زمانی است که متوسط دمایی هوا در پنج روز متوالی از پنج درجه سانتی‌گراد کمتر باشد. دمای پنج درجه سانتی‌گراد معمولاً آستانه پایان تحمل اکثر گیاهان در طول چرخه زندگی آن‌ها در نظر گرفته می‌شود (۹).

1- Julian day
2- Mann-Kendall



شکل ۱- نقشه موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 1- Location map and distribution of studied stations

با توجه به تطابق بیشتر تعریف اول با اکثر مناطق کشور و به منظور استفاده از آمار طول فصل رشد در کاشت گونه‌های گیاهی سازگار با آستانه‌های دمایی صفر و پنج درجه سانتی‌گراد (گیاهان سردسیری) و ۱۰ درجه سانتی‌گراد (گیاهان گرمسیری) به صورت جداگانه، شروع فصل رشد (SGS[1])، اولین روز با دمای کمینه روزانه، مساوی یا بزرگ‌تر از صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد (Tmin≥۰، Tmin≥۵ و Tmin≥۱۰) و پایان فصل رشد (EGS[2])، اولین روز پس از شروع دوره رشد که دمای کمینه روزانه، کوچک‌تر از صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد (Tmin<۰، Tmin<۵ و Tmin<۱۰) در نظر گرفته شد.

واحدهای گرمایی یا درجه-روز رشد (GDD)

دامنه تغییرات دمای هر منطقه، تعیین کننده گونه‌های گیاهی و زراعی است که کشاورزان می‌توانند براساس آن به کشت محصول بپردازند. بررسی شاخص‌های گرمایی و رطوبتی در ارزیابی نواحی اقلیمی-کشاورزی در مقیاس‌های مختلف، به منظور برنامه‌ریزی‌های کاشت محصول، میزان ریسک کاشت محصولات و تعیین فصول رویشی محصول حائز اهمیت است (۳). استفاده از GDD برای بیان طول مراحل نمو گیاهان نسبت به تقویم زمانی ترجیح داده می‌شود. بر این اساس، تعیین GDD و پهنه‌بندی مناطق براساس آن‌ها در انجام عملیات زراعی به موقع و صحیح و هم چنین استفاده بهتر از زمین‌های کشاورزی دارای اهمیت ویژه‌ای است (۳۷).

برای محاسبه حرارت مورد نیاز دوره‌های فنولوژیکی گیاه از دو روش متداول سامانه درجه-روز مؤثر و درجه-روز رشد فعال استفاده می‌شود. در سامانه درجه-روز مؤثر، از دمای پایه بیولوژیکی گیاه استفاده می‌گردد و در سامانه درجه-روز فعال، دمای صفر درجه به عنوان دمای پایه مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعیین درجه-روز مؤثر با استفاده از رابطه (۱) صورت می‌پذیرد. که در آن $\overline{T}_i$ میانگین دمای روزانه، T_b دمای پایه و n فاصله دو مرحله نمو بر حسب روز هستند (۱۷).

$$GDD = \sum_{i=1}^{n}(\overline{T}_i - T_b) \Rightarrow \text{if } \overline{T}_i > T_b \quad (۱)$$

دمای پایه برای محصولات زراعی مختلف از قبل تعیین شده است.

برای محاسبه در سامانهٔ درجه-روز رشد فعال نیز از رابطه (۲) استفاده می‌شود.

$$Hu = \sum_{i=1}^{n}\overline{T}_i \Rightarrow \text{if } \overline{T}_i > 0 \quad (۲)$$

1- Start of the Growing Season
2- End of the Growing Season

چون در درجه حرارت فعال، دمای بالاتر از صفر در نظر گرفته می‌شود، در این رابطه T_b برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش از روش درجه روز-رشد مؤثر در سه آستانه صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد به قسمی که آستانه‌های صفر و پنج درجه سانتی‌گراد برای گیاهان مناطق سردسیر و آستانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد برای گیاهان مناطق گرمسیری در نظر گرفته شده است.

روش تحلیل روند

یکی از روش‌های متداول جهت تحلیل سری‌های زمانی هواشناسی بررسی وجود یا عدم وجود روند در آن‌ها با استفاده از روش‌های آماری است. اثبات وجود روند معنادار در یک سری آماری به تنهایی نمی‌تواند دلیل قاطع بر وقوع تغییر اقلیم در یک منطقه باشد؛ بلکه فرض رخداد آن را تقویت می‌کند (۳۱). روش‌های آماری متعددی جهت تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه شده است. این روش‌ها در دو دسته کلی روش‌های پارامتری و ناپارامتری قابل تقسیم هستند. روش‌های ناپارامتری نسبت به روش‌های پارامتری کاربردی وسیع‌تر و چشمگیرتر دارند. مبنای کلیه روش‌های آماری مطرح کردن دو فرضیه صفر (H_0) و یک (H_1) و آزمودن آن‌ها بر اساس تکنیک‌های خاص و در نهایت پذیرش یکی از دو فرضیه است. پذیرفتن فرض صفر یعنی عدم وجود روند و پذیرفتن فرض یک یعنی وجود روند معنادار در سری داده‌ها، آزمون ناپارامتری مورد استفاده در این تحقیق شامل آزمون من-کندال است. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی‌ای که توزیع آنها نامشخص است، اشاره کرد. تأثیر ناچیز این روش از مقادیر حدّی، که در برخی سری‌های زمانی مشاهده می‌شود، از دیگر مزایای استفاده از این روش است. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم روند در سری داده‌ها دلالت می‌کند و پذیرفتن فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

الف) محاسبه اختلاف مشاهدات متوالی و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر s:

$$s=\sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=1}^{n} sign(x_j-x_k) \quad (۳)$$

n تعداد مشاهدات سری و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و داده‌های k ام سری‌اند. تابع علامت نیز به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$sign(x_j-x_k)=\begin{cases}+1 & if(x_j-x_k)>0\\ 0 & if(x_j-x_k)=0\\ -1 & if(x_j-x_k)<0\end{cases} \quad (۴)$$

ب) محاسبه واریانس با یکی از روابط زیر:

(۵)

$$Var(s)=\frac{n(n-1)(2n+5)-\sum_{i=1}^{m}t(t-1)(2t+5)}{18} \quad \text{اگر} \quad n>10$$

$$Var(s)=\frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{اگر} \quad n\le 10 \quad (۶)$$

n تعداد داده‌های مشاهده‌ای و تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌ها با ارزش یکسان است.

ج) استخراج آماره z :

$$z=\begin{cases}\frac{s-1}{\sqrt{Var(s)}} & \text{if } s>0\\ 0 & \text{if } s=0\\ \frac{s+1}{\sqrt{Var(s)}} & \text{if } s<0\end{cases} \quad (۷)$$

در آزمون دو دامنه، جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که $|z|\le z_{\alpha/2}$ باشد؛ که α سطح معنادار است و برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و $z_{\alpha/2}$ آماره نرمال استاندارد در سطح معنادار $\alpha/2$ است. در بررسی‌های این تحقیق این آزمون برای سطوح ۹۵ درصد و ۹۹ درصد به کار برده می‌شود. در صورتی که آماره z مثبت باشد، روند سری داده‌ها صعودی و در صورتی که منفی باشد، روند سری داده‌ها نزولی در نظر گرفته می‌شود. این آماره برای سطوح اطمینان ۹۵ درصد و ۹۹ درصد به ترتیب برابر با ۱/۹۶ و ۲/۵۸ است. برای محاسبات آماری فوق از نرم‌افزار R استفاده شد.

نتایج

به منظور مقایسه نتایج یافته‌های این پژوهش، دوره آماری ۶۰ ساله مورد مطالعه به دو دوره ۳۰ ساله تقسیم گردید. در هر دو دوره مورد اشاره ویژگی‌های آماری طول فصل رشد و واحدهای گرمایی در سه آستانه دمایی صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد در مناطق ساحلی و مرتفع بررسی و مقایسه گردید. بر این اساس در ادامه این پژوهش هر جا از نواحی مرتفع و نواحی ساحلی سخن به میان آمد به ترتیب به ایستگاه‌های نواحی مرتفع و ایستگاه‌های نواحی ساحلی مورد مطالعه در این پژوهش اشاره دارد.

الف) دوره آماری ۳۰ ساله اول (۱۳۶۷-۱۳۳۸)

مقایسه طول فصل رشد و واحدهای گرمایی بر مبنای آستانه‌های دمایی صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد

برای محاسبه واحدهای گرمایی بر مبنای صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد، نخست تاریخ شروع و خاتمه دمای صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد و طول فصل رشد استخراج شد. سپس میزان واحدهای گرمایی طول فصل رشد برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه گردید.

جدول ۱- ویژگی‌های آماری دوره ۳۰ ساله اول (۱۳۳۸-۱۳۶۷) بر مبنای آستانه‌های دمایی صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد در ایستگاه‌های منتخب

Table 1- Statistical characteristics of the first 30 years (1959-1988) based on temperature thresholds of zero, five and 10 degrees Celsius in selected stations

متغیر Variable	(S)M	(S)C	متغیر Variable	(S)M	(S)C	متغیر Variable	(S)M	(S)C
E_{S0}	۱۵ اسفند 5Mar (Yazd)	۱۸ اسفند 8Mar (Gorgan)	E_{S5}	۱۹ اسفند 9Mar (Bam)	۲۸ بهمن 16Feb (Abadan)	E_{S10}	۱۴ فروردین 4Jun (Bam)	۲۵ بهمن 13Feb (Bandar Abbas)
L_{S0}	۲۹ فروردین 18Apr (Zanjan, Shahrekord	۲۲ اسفند 12Mar (Rasht)	L_{S5}	۴ خرداد 24May (Zanjan)	۲۳ فروردین 12Apr (Rasht)	L_{S10}	۳۰ خرداد 19Jun (Zanjan)	۲۴ اردیبهشت 14May (Rasht)
E_{E0}	۳۰ مهر 21Oct (Sharekord)	۱۷ آذر 7Dec (Rasht)	E_{E5}	۳۰ شهریور 20Sep (Shahrekord ,Kerman)	۱۶ آبان 6Nov (Rasht, Ramsar)	E_{E10}	۷ شهریور 28Aug (Shahrekord ,Zanjan)	۱۶ مهر 7Oct (Rasht)
L_{E0}	۱۱ آذر 1Dec (Tehran)	۱۹ آذر 9Dec (Tehran)	L_{E5}	۶ آذر 26Nov (Bam)	۱۴ آذر 4Dec (Abadan)	L_{E10}	۱۲ آبان 2Nov (Bam)	۱۷ آذر 7Dec (Bandar Abbas)
S_{SG0}	186 (Shahrekord)	323 (Bam)	S_{SG5}	120 (Shahrekord)	208 (Rasht)	S_{SG10}	70 (Zanjan)	146 (Rasht)
L_{SG0}	276 (Rasht)	365 (Bushehr ,Bandar Abbas)	L_{SG5}	261 (Bam)	364 (Bandar Abbas)	L_{SG10}	212 (Bam)	310 (Bandar Abbas)
A_{SG0}	229	331	A_{SG5}	171	270	A_{SG10}	116	207
m_{CV0}	4.38 (Esfahan)	6.9 (Rasht)	m_{CV5}	5.07 (Bam)	4.41 (Abadan)	m_{CV10}	6.77 (Bam)	4.15 (Abadan)
M_{CV0}	12.01 (Khorramabad)	4.85 (Gorgan)	M_{CV5}	14.94 (Sanandaj)	8.33 (Rasht)	M_{CV10}	23.31 (Khorramabad)	16.27 (Rasht)
m_{D0}	3575 (Zanjan)	5139 (Rasht)	m_{D5}	2012 (Zanjan)	3348 (Rasht)	m_{D10}	938 (Zanjan)	1915 (Rasht)
M_{D0}	6096 (Yazd)	6086 (Gorgan)	M_{D5}	5718 (Bam)	6776 (Abadan)	M_{D10}	4004 (Bam)	5662 (Bandar Abbas)
m_{T0}	4303 (Zanjan)	5752 (Rasht)	m_{T5}	2874 (Zanjan)	3976 (Ramsar)	m_{T10}	1731 (Zanjan)	2412 (Ramsar)
M_{T0}	8284 (Bam)	9865 (Bandar Abbas)	M_{T5}	6467 (Bam)	8039 (Bandar Abbas)	M_{T10}	4724 (Bam)	6212 (Bandar Abbas)
T_{S0}	21%	0%	T_{S5}	26%	0%	T_{S10}	47%	25%
T_{Y0}	47%	25%	T_{Y5}	53%	25%	T_{Y10}	53%	25%

نواحی مرتفع (نام ایستگاه) و نواحی ساحلی(نام ایستگاه) بترتیب: (S)M و (S)C، زودترین و دیرترین میانگین تاریخ آغاز رخداد صفر ، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد بترتیب: زودترین (E_{S0}، E_{S5} و E_{S10}) و دیرترین(L_{S0}، L_{S5} و L_{S10})، زودترین و دیرترین میانگین تاریخ خاتمه رخداد صفر ، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد بترتیب: زوردترین (E_{E0}، E_{E5} و E_{E10}) و دیرترین (L_{E0}، L_{E5} و L_{E10})، کوتاه‌ترین، بلندترین و میانگین طول فصل رشد بر حسب روز بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد بترتیب: کوتاه‌ترین (S_{SG0}، S_{SG5} و S_{SG10})، بلندترین (L_{SG0}، L_{SG5} و L_{SG10}) و میانگین (A_{SG0}، A_{SG5} و A_{SG10})، کمترین و بیشترین مقدار ضریب تغییرات بر حسب درصد در طول فصل رشد بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد بترتیب: کمترین (m_{CV0}، m_{CV5} و m_{CV10}) و بیشترین (M_{CV0}، M_{CV5} و M_{CV10})، کمترین و بیشترین میانگین واحدهای گرمایی فصل رشد برحسب درجه-روز بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد بترتیب: کمترین (m_{D0}، m_{D5} و m_{D10}) و بیشترین (M_{D0}، M_{D5} و M_{D10})، کمترین و بیشترین میانگین واحدهای گرمایی سال زراعی برحسب درجه-روز بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد بترتیب:کمترین (m_{T0}، m_{T5} و m_{T10}) و بیشترین (M_{T0}، M_{T5} و M_{T10})، درصد ایستگاه‌های دارای روند معنادار طول فصل رشد بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد (T_{S0}، T_{S5} و T_{S10})، درصد ایستگاه‌های دارای روند معنادار مجموع درجه-روزهای رشد سال زراعی بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد (T_{Y0}، T_{Y5} و T_{Y10})، * معنادار در سطح اعتماد ۹۵ یا ۹۹ درصد.

Elevated areas (station name) and coastal areas (station name): (S)M and (S)C, respectively, the earliest and latest average of the start date of zero, five and 10 °C, respectively: the earliest (E_{S0}, E_{S5} and E_{S10}) and The latest (L_{S0}, L_{S5} and L_{S10}), the earliest and the latest average of the zero, five and 10 °C event termination dates: the strongest (E_{E0}, E_{E5} and E_{E10}) and the latest (L_{E0}, L_{E5} and L_{E10}), the shortest, longest and average season length, respectively. Growth by day based on thresholds of zero, five and 10 °C, respectively: shortest (S_{SG0}, S_{SG5} and S_{SG10}), highest (L_{SG0}, L_{SG5} and L_{SG10}) and average (A_{SG0}, A_{SG5} and A_{SG10}), lowest and highest coefficient of variation per Percentage during the growing season based on thresholds of zero, five and 10 °C, respectively: lowest (m_{CV0}, m_{CV5} and m_{CV10}) and highest (M_{CV0}, M_{CV5} and M_{CV10}), lowest and highest average of heating units of the growing season in terms of degree-day based Zero, five and 10 °C thresholds, respectively: lowest (m_{D0}, m_{D5} and m_{D10}) and highest (M_{D0}, M_{D5} and M_{D10}), lowest and highest average of crop year heat units in terms of degree-day based on zero, five and five thresholds: 10 °C, respectively: lowest (m_{T0}, m_{T5} and m_{T10}) and highest (M_{T0}, M_{T5} and M_{T10}), percentage of stations with a significant trend during the growing season based on thresholds of zero, five and 10 °C (T_{S0}, T_{S5} and T_{S10}), percentage Stations with a significant trend Total degree of growth days of the crop year based on thresholds of zero, five and 10 degrees Celsius (T_{Y0}, T_{Y5} and T_{Y10}), * significant at 95 or 99% confidence level.

جدول ۲- ویژگی‌های آماری دوره ۳۰ ساله دوم (۱۳۶۸-۱۳۹۷) بر مبنای آستانه‌های دمایی صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد در ایستگاه‌های منتخب

Table 2- Statistical characteristics of the second 30-year period (1989-2018) based on temperature thresholds of zero, five and 10 degrees Celsius in selected stations

متغیر Variable	(S)M	(S)C	متغیر Variable	(S)M	(S)C	متغیر Variable	(S)M	(S)C
E_{S0}	۱۵ اسفند 5Mar (Yazd)	۹ اسفند 27Feb (Rasht)	E_{S5}	۶ اسفند 24Feb (Bam)	۲۱ بهمن 9Feb (Abadan)	E_{S10}	۱ فروردین 21Mar (Kerman)	۲۲ بهمن 10Feb (Bandar Abbas)
L_{S0}	۱۰ اردیبهشت 30Apr (Shahrekord)	۱۴ اسفند 4Mar (Gorgan)	L_{S5}	۱۲ خرداد 1Jun (Shahrekord)	۲۰ فروردین 9Apr (Gorgan)	L_{S10}	۳۰ خرداد 19Jun (Shahrekord)	۱۲ اردیبهشت 2May (Gorgan)
E_{E0}	۲۳ مهر 14Oct (Sharekord)	۱۹ آذر 9Dec (Rasht)	E_{E5}	۲۶ شهریور 16Sep (Shahrekord)	۲۰ آبان 10Nov (Gorgan)	E_{E10}	۵ شهریور 26Aug (Shahrekord)	۲۷ مهر 18Oct (Gorgan)
L_{E0}	۱۶ آذر 6Dec (Tehran)	۲۰ آذر 10Dec (Gorgan)	L_{E5}	۱۵ آذر 5Dec (Bam)	۱۸ آذر 8Dec (Abadan)	L_{E10}	۲۵ آبان 15Nov (Bam)	۱۷ آذر 7Dec (Bushehr)
S_{SG0}	168 (Sharekord)	285 (Gorgan)	S_{SG5}	106 (Sharekord)	215 (Gorgan)	S_{SG10}	68 (Sharekord)	169 (Gorgan)
L_{SG0}	346 (Bam)	(Bandar 365 Abbas ,Bushehr)	L_{SG5}	286 (Bam)	362 (Bandar Abbas)	L_{SG10}	235 (Bam)	303 (Bandar Abbas)
A_{SG0}	239	342	A_{SG5}	183	281	A_{SG10}	127	223
m_{CV0}	4.97 (Arak)	6.41 (Gorgan)	m_{CV5}	5.19 (Tehran)	4.95 (Abadan)	m_{CV10}	6.8 (Esfahan)	4.94 (Bandar Abbas)
M_{CV0}	11.40 (Zanjan)	6.91 (Rasht)	M_{CV5}	18.23 (Zanjan)	7.47 (Ramsar)	M_{CV10}	20.78 (Zanjan)	9.74 (Ramsar)
m_{D0}	3233 (Sharekord)	5619 (Rasht)	m_{D5}	1767 (Sharekord)	3736 (Rasht)	m_{D10}	880 (Sharekord)	2365 (Rasht)
M_{D0}	6783 (Zanjan)	5959 (Rasht)	M_{D5}	6384 (Bam)	7372 (Abadan)	M_{D10}	4578 (Bam)	5761 (Ramsar)
m_{T0}	4321 (Sharekord)	6089 (Rasht)	m_{T5}	2812 (Sharekord)	4297 (Rasht)	m_{T10}	1631 (Sharekord)	2687 (Ramsar)
M_{T0}	8780 (Bam)	9903 (Bandar Abbas)	M_{T5}	6961 (Bam)	8077 (Bandar Abbas)	M_{T10}	5195 (Bam)	6251 (Bandar Abbas)
T_{S0}	37%	13%	T_{S5}	42%	0%	T_{S10}	47%	25%
T_{Y0}	89%	100%	T_{Y5}	89%	100%	T_{Y10}	89%	100%

نواحی مرتفع (نام ایستگاه) و نواحی ساحلی(نام ایستگاه) بترتیب: (S)M و (S)C، زودترین و دیرترین میانگین تاریخ آغاز رخداد صفر ، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد بترتیب: زودترین (E_{S0}، E_{S5} و E_{S10}) و دیرترین(L_{S0}، L_{S5} و L_{S10})، زودترین و دیرترین میانگین تاریخ خاتمه رخداد صفر ، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد بترتیب: زوردترین (E_{E0}، E_{E5} و E_{E10}) و دیرترین (L_{E0}، L_{E5} و L_{E10})، کوتاه‌ترین، بلندترین و میانگین طول فصل رشد بر حسب روز بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد بترتیب: کوتاه‌ترین(S_{SG0}، S_{SG5} و S_{SG10})، بلندترین (L_{SG0}، L_{SG5} و L_{SG10}) و میانگین (A_{SG0}، A_{SG5} و A_{SG10})، کمترین و بیشترین مقدار ضریب تغییرات بر حسب درصد در طول فصل رشد بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد بترتیب: کمترین (m_{CV0}، m_{CV5} و m_{CV10}) و بیشترین (M_{CV0}، M_{CV5} و M_{CV10})، کمترین و بیشترین میانگین واحدهای گرمایی فصل رشد برحسب درجه-روز بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد بترتیب: کمترین (m_{D0}، m_{D5} و m_{D10}) و بیشترین (M_{D0}، M_{D5} و M_{D10})، کمترین و بیشترین میانگین واحدهای گرمایی سال زراعی برحسب درجه-روز بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد بترتیب:کمترین (m_{T0}، m_{T5} و m_{T10}) و بیشترین (M_{T0}، M_{T5} و M_{T10})، درصد ایستگاه‌های دارای روند معنادار طول فصل رشد بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد (T_{S0}، T_{S5} و T_{S10})، درصد ایستگاه‌های دارای روند معنادار مجموع درجه-روزهای رشد سال زراعی بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد (T_{Y0}، T_{Y5} و T_{Y10})، * معنادار در سطح اعتماد ۹۵ یا ۹۹ درصد.

Elevated areas (station name) and coastal areas (station name): (S)M and (S)C, respectively, the earliest and latest average of the start date of zero, five and 10 °C, respectively: the earliest (E_{S0}, E_{S5} and E_{S10}) and The latest (L_{S0}, L_{S5} and L_{S10}), the earliest and the latest average of the zero, five and 10 °C event termination dates: the strongest (E_{E0}, E_{E5} and E_{E10}) and the latest (L_{E0}, L_{E5} and L_{E10}), the shortest, longest and average season length, respectively. Growth by day based on thresholds of zero, five and 10 °C, respectively: shortest (S_{SG0}, S_{SG5} and S_{SG10}), highest (L_{SG0}, L_{SG5} and L_{SG10}) and average (A_{SG0}, A_{SG5} and A_{SG10}), lowest and highest coefficient of variation per Percentage during the growing season based on thresholds of zero, five and 10 °C, respectively: lowest (m_{CV0}, m_{CV5} and m_{CV10}) and highest (M_{CV0}, M_{CV5} and M_{CV10}), lowest and highest average of heating units of the growing season in terms of degree-day based Zero, five and 10 °C thresholds, respectively: lowest (m_{D0}, m_{D5} and m_{D10}) and highest (M_{D0}, M_{D5} and M_{D10}), lowest and highest average of crop year heat units in terms of degree-day based on zero, five and five thresholds: 10 °C, respectively: lowest (m_{T0}, m_{T5} and m_{T10}) and highest (M_{T0}, M_{T5} and M_{T10}), percentage of stations with a significant trend during the growing season based on thresholds of zero, five and 10 °C (T_{S0}, T_{S5} and T_{S10}), percentage Stations with a significant trend Total degree of growth days of the crop year based on thresholds of zero, five and 10 degrees Celsius (T_{Y0}, T_{Y5} and T_{Y10}), * significant at 95 or 99% confidence level.

به منظور مقایسه میزان واحدهای گرمایی فصل رشد و سال زراعی، مجموع واحدهای گرمایی هر سال زراعی، بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد محاسبه و استخراج شد. اهمیت تاریخ گذر از دمای پنج درجه سانتی‌گراد برای بیشتر محصولات کشاورزی مناطق سردسیری و معتدل دارای اهمیت زیادی است. از سوی دیگر مطالعه و بررسی تاریخ گذر دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد برای بسیاری از محصولات کشاورزی از جمله محصولات گرمسیری حائز اهمیت فراوان است. کلیه اطلاعات آماری برای هر سه آستانه دمایی مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

بر اساس نتایج بدست آمده، طول فصل رشد از جنوب به سمت غرب و شمال کشور کاهش یافته و در نواحی شمالی به سبب رطوبت و دمای بیشتر، طول فصل رشد طولانی‌تر از نواحی غربی است.

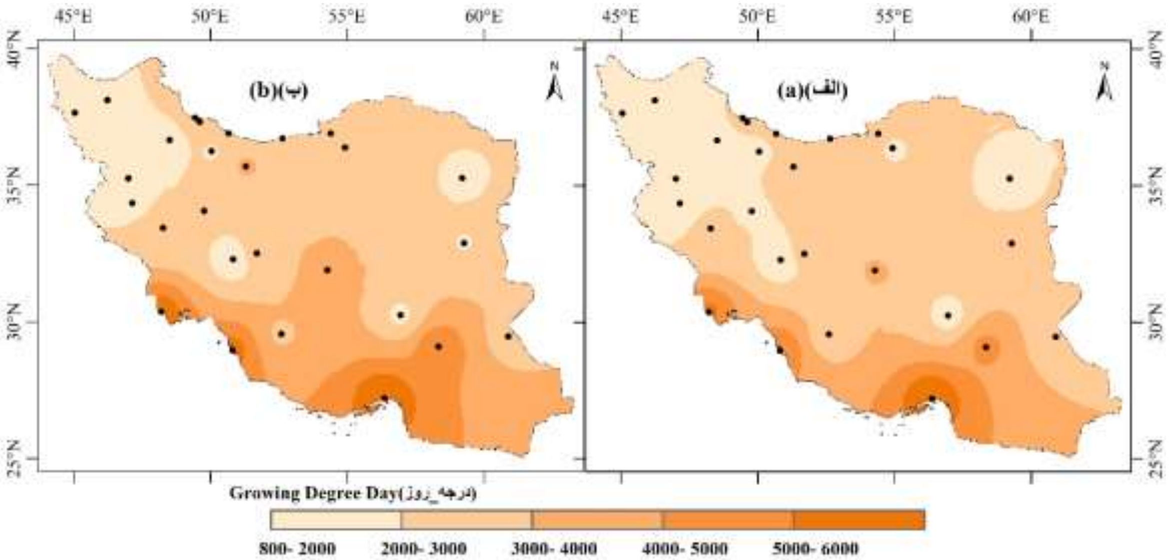
ب) دوره آماری ۳۰ ساله دوم (۱۳۶۸-۱۳۹۷)

مقایسه طول فصل رشد و واحدهای گرمایی بر مبنای آستانه‌های دمایی صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد

برای محاسبه واحدهای گرمایی بر مبنای صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد، نخست تاریخ شروع و خاتمه دمای صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد و طول فصل رشد استخراج شد. سپس میزان واحدهای گرمایی طول فصل رشد برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه گردید. به منظور مقایسه میزان واحدهای گرمایی فصل رشد و سال زراعی، مجموع واحدهای گرمایی هر سال زراعی، بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد محاسبه و استخراج شد. به دلیل طولانی بودن فصل رشد در بیشتر نواحی ساحلی و افزایش نسبی دما در این نواحی، وقوع دماهای آستانه صفر درجه سانتی‌گراد کم بوده و امکان محاسبه میانگین بلندمدت برای همه ایستگاه‌ها وجود نداشت.

به منظور مقایسه دو دوره آماری ۳۰ ساله مورد مطالعه، پهنه‌بندی میزان واحدهای گرمایی طول فصل رشد بر مبنای آستانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد (شکل ۲). با دقت در نقشه‌ها مشاهده می‌شود که واحدهای گرمایی ایستگاه‌های رشت، شاهرود، تهران، یزد، آبادان و بوشهر در دوره آماری ۳۰ ساله دوم (۱۳۶۸-۱۳۹۷) نسبت به دوره آماری ۳۰ ساله اول (۱۳۳۸-۱۳۶۷) بیشتر شده است. از سویی دیگر در ایستگاه‌های جنوبی کشور میزان واحدهای گرمایی در مقایسه با ایستگاه‌های سردسیر غرب و شمال غرب بیشتر است که نشان دهنده مناسب‌تر شدن شرایط برای گیاهان گرمسیری در این مناطق است.

نتایج حاصل از بررسی روند شاخص طول فصل رشد به تفکیک اقلیم و دوره آماری به روش من-کندال در جدول ۳ آمده است. این نتایج نشان دهنده افزایش نسبی تعداد ایستگاه‌های دارای روند مثبت در دوره ۳۰ ساله دوم (۱۳۶۸-۱۳۹۷) نسبت به دوره ۳۰ ساله اول (۱۳۳۸-۱۳۶۷) است.



شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی واحدهای گرمایی فصل رشد بر مبنای آستانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد، (الف) طی دوره ۳۰ ساله اول (۱۳۳۸-۱۳۶۷)، (ب) طی دوره ۳۰ ساله دوم (۱۳۶۸-۱۳۹۷) در ایستگاه‌های منتخب

Figure 2- Zoning map of heating units of the growing season based on the threshold of 10 °C, (a) during the first 30-year period (1959-1988), (b) during the second 30-year period (1989-2018) in selected stations

جدول ۳- تعداد ایستگاه دارای روند مشخص(مثبت، منفی و صفر) شاخص طول فصل رشد در دوره ۳۰ ساله اول (۱۳۳۸-۱۳۶۷) و دوره ۳۰ ساله دوم (۱۳۶۸-۱۳۹۷) در ایستگاه‌های منتخب

Table 3- Number of stations with a definite trend (positive, negative and zero) of the growth season length index in the first 30-year period (1959-1988) and the second 30-year period (1989-2018) in selected stations

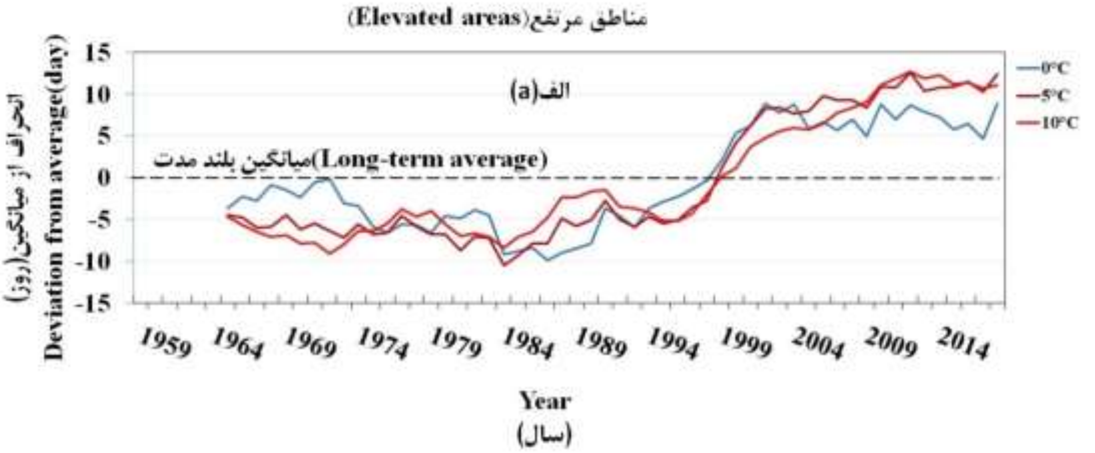
اقلیم Climate	دوره ۳۰ ساله اول The first 30-year period									دوره ۳۰ ساله دوم The second 30-year period								
	آستانه ۰°C Threshold 0 °C			آستانه ۵°C Threshold 5 °C			آستانه ۱۰°C Threshold 10 °C			آستانه ۰°C Threshold 0 °C			آستانه ۵°C Threshold 5 °C			آستانه ۱۰°C Threshold 10 °C		
	روند مثبت Positive Trend	روند منفی Negative Trend	عدم روند N0 Trend	روند مثبت Positive Trend	روند منفی Negative Trend	عدم روند N0 Trend	روند مثبت Positive Trend	روند منفی Negative Trend	عدم روند N0 Trend	روند مثبت Positive Trend	روند منفی Negative Trend	عدم روند N0 Trend	روند مثبت Positive Trend	روند منفی Negative Trend	عدم روند N0 Trend	روند مثبت Positive Trend	روند منفی Negative Trend	عدم روند N0 Trend
فرا خشک(۷) Hyper arid(7)	0	0	7	0	0	7	2	1	4	2	0	5	1	0	6	3	0	4
خشک(۴) Arid(4)	0	1	3	0	1	3	2	1	1	1	0	3	0	0	4	1	0	3
نیمه‌خشک(۱۲) Semi-arid(12)	0	3	9	1	3	8	2	3	7	1	3	8	5	2	5	5	1	6
مرطوب(۱) Humid(1)	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
خیلی مرطوب نوع الف(۲) Very humid type a(2)	0	0	2	0	0	2	0	0	2	1	0	1	0	0	2	1	0	1
خیلی مرطوب نوع الف(۲) Very humid type b(2)	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
مجموع Total	0	4	23	1	4	22	6	5	16	5	3	19	6	2	19	10	1	16

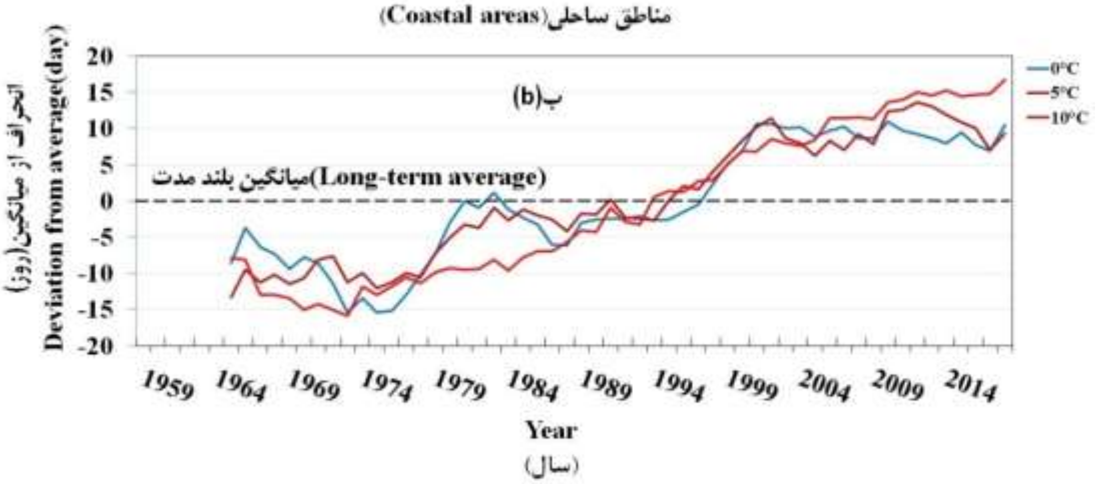
اعداد داخل پرانتز تعداد ایستگاه در هر اقلیم است.

The numbers in parentheses are the number of stations in each climate.

ج) مقایسه انحراف از میانگین طول فصل رشد طی دوره آماری ۶۰ ساله (۱۳۳۸-۱۳۹۷)

در این پژوهش به منظور تکمیل بررسی میزان تغییرات طول فصل رشد، از یکی از مشخصه‌های پراکنش بنام انحراف از میانگین استفاده شد. این شاخص میزان پراکندگی داده‌ها حول میانگین را نشان می‌دهد. این معیار از طریق محاسبه مقادیر انحراف از میانگین طول فصل رشد هر سال در هر ناحیه بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد از میانگین ۶۰ ساله آن ناحیه بدست می‌آید. به منظور هموارسازی مقادیر انحراف‌ها، از میانگین متحرک با گام ۷ سال استفاده شده، شکل ۳- الف برای نواحی مرتفع و شکل ۳- ب برای نواحی ساحلی بدین منظور ترسیم شد. خطوط شکل ۳- الف تعداد روزهای کوتاه‌تر یا طولانی‌تر از میانگین ۱۹ ایستگاه نواحی مرتفع بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. این خطوط با استفاده از میانگین متحرک ۷ ساله هموار شد. شکل ۳- ب نیز به همین ترتیب برای ۸ ایستگاه نواحی ساحلی کشور بدست آمده است. به استناد شکل ۳- ب ، از سال ۱۳۷۰ به بعد در میانگین ایستگاه‌های مورد بررسی در این پژوهش، یک افزایش مشهود در طول فصل رشد بخوبی دیده می‌شود. این انحراف از میانگین در همه آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد از سال ۱۳۷۰ با شیب و تداوم متفاوت افزایشی است.





شکل ۳- میزان انحراف از میانگین طول فصل رشد بر مبنای آستانه‌های دمایی صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد در الف) ایستگاه‌های نواحی مرتفع ب) ایستگاه‌های نواحی ساحلی مورد مطالعه طی دوره آماری ۶۰ ساله (۱۳۳۸-۱۳۹۷)

Figure 3- Deviation from the average of the growing season length based on temperature thresholds of zero, five and 10 degrees Celsius in (a) elevated stations; (b) coastal stations studied during the statistical period of 60 years (1959-2018)

در این نواحی بیشترین رشد مثبت انحراف از میانگین طول فصل رشد بر مبنای آستانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد با افزایشی ۱۷ روزه در طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۱ دیده می‌شود. بر مبنای آستانه‌های صفر و پنج درجه سانتی‌گراد ، افزایشی ۱۴ روزه در میانگین طول فصل رشد نواحی مرتفع طی سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۰ دیده می‌شود. در این نواحی از اواسط دهه ۷۰ شمسی تاکنون مقادیر انحراف از میانگین طول فصل رشد، مثبت بوده است. در نواحی ساحلی کشور و بر اساس شکل ۳- ب افزایش ۳۳ روزه نسبت به میانگین طول فصل رشد، طی سال‌های ۱۳۵۱ تاکنون بر مبنای آستانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد دیده می‌شود. بر مبنای آستانه‌های صفر و پنج درجه سانتی‌گراد ، دو دوره زمانی افزایش در میانگین طول فصل رشد در نواحی ساحلی یکی در دهه ۵۰ و دیگری در دهه ۷۰ شمسی اتفاق افتاده است. در این نواحی از اوایل دهه ۷۰ شمسی تاکنون مقادیر انحراف از میانگین طول فصل رشد، مثبت بوده است.

نتایج و بحث

بررسی روند تغییرات طول فصل رشد در دوره آماری ۳۰ ساله اول (۱۳۳۸-۱۳۶۷) نشان دهنده وجود روند معنادار در تعداد محدودی از ایستگاه‌ها است. همچنین با افزایش آستانه دمایی از صفر و پنج درجه سانتی‌گراد به ۱۰ درجه سانتی‌گراد وجود روند معنادار و کاهشی در تعداد بیشتری از ایستگاه‌ها به چشم می‌خورد. با در نظر گرفتن آستانه دمایی۱۰ درجه سانتی‌گراد برای بررسی سری‌های زمانی طول فصل

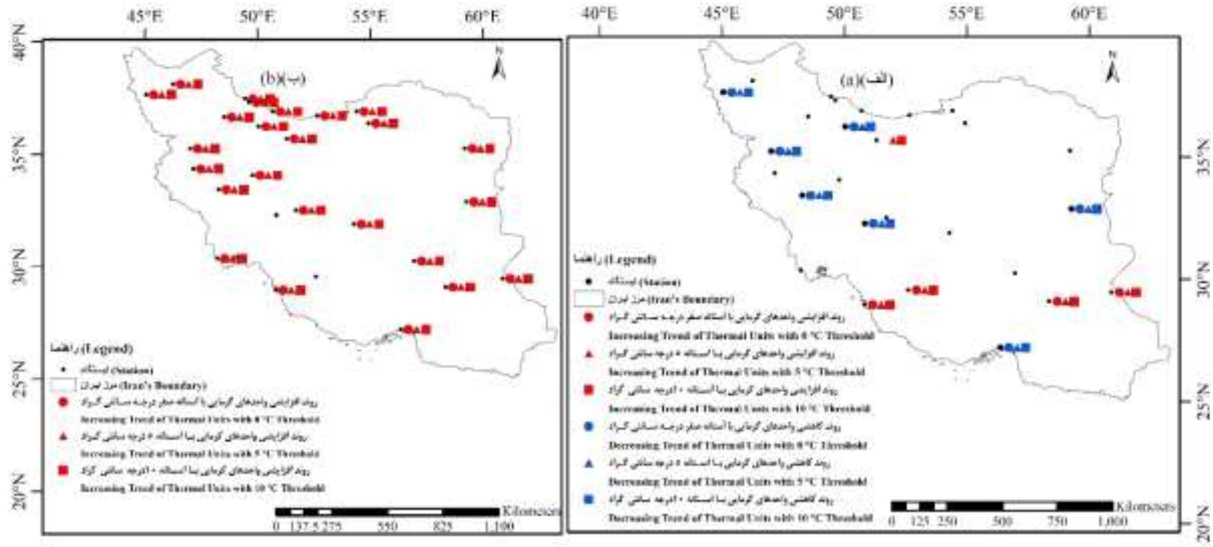
رشد، در ایستگاه‌های ارومیه، سنندج، خرم‌آباد، بیرجند و بندرعباس روند معنادار و کاهشی و در ایستگاه‌های تبریز، تهران، کرمانشاه، اصفهان، یزد و بوشهر روند معنادار و افزایشی مشاهده شد. نتایج بررسی‌ها، تغییرات کمتری را در سری‌های زمانی طول فصل رشد بر مبنای آستانه‌های دمایی صفر و پنج درجه سانتی‌گراد در دوره آماری ۳۰ ساله دوم (۱۳۶۸–۱۳۹۷) نشان می‌دهد. از طرفی دیگر نتایج بدست آمده نشانگر معنادار بودن روند طول فصل رشد در تعداد بیشتری از ایستگاه‌ها در دوره آماری اخیر بر مبنای آستانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. نتایج محاسبه انحراف از میانگین طول فصل رشد نشان‌دهنده میزان انحراف بیشتر در نواحی ساحلی نسبت به نواحی مرتفع بوده به قسمی که سری زمانی طول فصل رشد بر پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد در هر دو ناحیه با شیب و تداوم بیشتر افزایشی بوده است. این روند افزایشی انحراف از میانگین در نواحی ساحلی از اوایل دهه ۵۰ شمسی و در نواحی مرتفع از اوایل دهه ۷۰ شمسی آغاز و تاکنون ادامه دارد. در همین راستا ایستگاه بندرعباس و بعد از آن ایستگاه بوشهر دارای طولانی‌ترین فصل رشد بودند و ایستگاه شهرکرد کوتاه‌ترین طول فصل رشد در بین سایر ایستگاه‌های مورد بررسی را داشته است. نتایج این پژوهش می‌تواند در راستای نتایج مظفری و همکاران (۲۵) که در آن تغییرات در بین سری‌هایی با آستانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد از فراوانی و نظم بهتری نسبت به سری‌هایی با آستانه ۵ درجه سانتی‌گراد برخوردار بودند و همچنین نتایج مظفری و همکاران (۲۶) که در بین آستانه‌های ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد، ایستگاه بندرعباس و سپس بوشهر دارای طولانی‌ترین فصل رشد و ایستگاه شهرکرد کوتاه‌ترین فصل رشد در بین سایر ایستگاه‌های مورد بررسی را داشته است باشد.

مقایسه پهنه‌بندی واحدهای گرمایی طول فصل رشد طی دوره آماری ۳۰ ساله دوم (۱۳۶۸–۱۳۹۷) نشان‌دهنده کاهش واحدهای گرمایی طول فصل رشد از جنوب به شمال کشور و از شرق به غرب کشور می‌باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند در راستای نتایج مظفری و همکاران (۲۷) باشد که در آن برای آستانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد میزان واحدهای گرمایی طول فصل رشد از جنوب به شمال کشور کاهش و از غرب به شرق افزایش می‌یابد. بر این اساس در ایستگاه‌های جنوبی کشور در مقایسه با ایستگاه‌های سردسیر غرب و شمال غرب، شرایط برای گیاهان گرمسیری (آستانه دمایی۱۰ درجه سانتی‌گراد) در این مناطق مناسب‌تر شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان پیشنهاد کرد که در مناطقی که طول فصل رشد کاهش می‌یابد، با توجه به اینکه کشاورزان با کاهش عملکرد محصول و همچنین محصولاتی که به خوبی نرسیده‌اند مواجه‌اند، بهتر است از کشت محصولات با دوره رشد کمتر یا گیاهان زودرس استفاده کنند تا واحدهای گرمایی مورد نیاز گیاه در طول فصل رشد تأمین شود.

تحلیل سری‌های زمانی میانگین مجموع واحدهای گرمایی سال‌های زراعی بر مبنای سه آستانه دمایی مورد بررسی در دوره آماری ۳۰ ساله اول (۱۳۳۸–۱۳۶۷) نشان دهنده وجود روند در ۴۱ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه بود (شکل ۴– الف). این در حالی است که تحلیل سری‌های زمانی میانگین مجموع واحدهای گرمایی سال‌های زراعی بر مبنای سه آستانه دمایی مورد بررسی در دوره آماری ۳۰ ساله دوم (۱۳۶۸–۱۳۹۷) نشان‌دهنده وجود روند معنادار و افزایشی در ۹۳ درصد ایستگاه‌های مورد بررسی بود. طی این مدت ایستگاه‌های شهرکرد و شیراز در هر سه آستانه مذکور روند معناداری را نشان نداد (شکل ۴– ب). با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش شاید در نواحی سردسیر به دلیل افزایش واحدهای گرمایی، تامین واحدهای سرمایی گیاهان با اختلال روبرو شود. در حالی که در نیمه جنوبی کشور به علت تامین شدن واحدهای گرمایی در روزهای کمتر، کوتاهی فصل رشد و عدم تجمع کافی ماده خشک در محصول و احتمالاً افت عملکرد مشاهده شود. با توجه به نتایج بدست آمده، شاخص GDD محصولات کشاورزی در حال افزایش است، بنابراین پیشنهاد می‌شود با روش‌های آماری بکار رفته در این پژوهش یا روش‌های مشابه دیگر نسبت به بررسی و ارزیابی محصولات، ارقام و همچنین بررسی تغییر رشد محصولات کشاورزی چندساله و ارزیابی اختلال گرده افشانی و تغییر عملکرد احتمالی آن‌ها مطالعاتی صورت گیرد. از طرفی دیگر با طولانی شدن فصل رشد شاهد افزایش تخم‌ریزی و تعدد نسل حشرات و آفات محصولات کشاورزی در طول سال خواهیم بود. بر این اساس پیشنهاد می‌شود ضمن مطالعه افزایش جمعیت حشرات در مزارع و باغ‌ها، نسبت به ارزیابی مقاومت بیشتر آن‌ها در برابر آفت‌کش‌ها تحقیق شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از سازمان هواشناسی به دلیل در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.



شکل ۴- تغییرات روند مجموع واحدهای گرمایی سال‌های زراعی بر مبنای آستانه‌های صفر، پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد الف) دوره آماری ۳۰ ساله اول (۱۳۳۸-۱۳۶۷) ب) دوره آماری ۳۰ ساله دوم (۱۳۶۸-۱۳۹۷)

Figure 4- Changes in the trend of total heat units of crop years based on thresholds of zero, five and 10 degrees Celsius (a) The first 30-year statistical period (1958-1987); (b) The second 30-year statistical period (1989-1397)

منابع

1- Azizzadeh J., Ahmadi H., Baaghideh M., and Entezari A. 2020. Whether climate change is an opportunity or a threat? evaluation of potential climate change on tropical trees of Iran, Case Study: Palm Dates. Journal of Climate Research (40): 61-80. (In Persian)

2- Berhane A. 2018. Climate change and variability impacts on agricultural productivity and food security. Journal of Climatology & Weather Forecasting 6(3): 1-6.

3- Bishnoi O.P. 2010. Applied Agroclimatology. Oxford book company, India.

4- Ceglar A., Zampieri M., Toreti A., and Dentener F. 2019. Observed northward migration of agro-climate zones in Europe will further accelerate under climate change. Earth's Future 7(9): 1088–1101.

5- Chmielewski F-M., and Rötzer T. 2002. Annual and spatial variability of the beginning of growing season in Europe in relation to air temperature changes. Climate Research 19(3): 257–264.

6- Christiansen D.E., Markstrom S.L., and Hay L.E. 2011. Impacts of climate change on the growing season in the United States. Earth Interactions 15(33): 1-17.

7- Egbebiyi T.S., Crespo O., Lennard C., Zaroug M., Nikulin G., Harris I., Price J., Forstenhäusler N., and Warren R. 2020. Investigating the potential impact of 1.5, 2 and 3 °C global warming levels on crop suitability and planting season over west Africa. PeerJ, 8:e8851.

8- Fallah Ghalhary G., and Ahmadi H. 2017. Trend analysis of phenological stages length and chilling requirements of apple tree (Case study: Karaj station). Journal of Agricultural Meteorology 5(1):57-70. (In Persian with English abstract)

9- Frich P., Alexander L.V., Della-Marta P., Gleason B., Haylock M., Klein Tank A.M.G., and Peterson T. 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. Climate Research 19(3): 193–212.

10- Grigorieva E. 2020. Evaluating the sensitivity of growing degree days as an agro-climatic indicator of the climate change impact: A Case Study of the Russian far east. Atmosphere, 11, 404.

11- Hejabi S., Abasalinezhad Sheramin H., and Doulati Baneh H. 2019. Effect of climate change on the phenology of "Bidaneh Sefid" table grape variety in West Azerbaijan province. Research in Pomology 4(2): 43-52. (In Persian)

12- Høgda K.A., Tømmervik H., and Karlsen S.R. 2013. Trends in the start of the growing season in fennoscandia 1982–2011. Remote Sensing (5): 4304-4318.

13- Kamali G., Mollaei P., and Behyar M. 2010. Development of Zanjan province dry land wheat atlas by using climatic data and GIS. Journal of Water and Soil 24(5): 894-907. (In Persian with English abstract)

14- Karlsen S.R., Solheim I., Beck P.S.A., Høgda K.A., Wielgolaski F.E., and Tømmervik H. 2007. Variability of the start of the growing season in Fennoscandia, 1982–2002. International Journal of Biometeorology 51: 513–524.

15- Kheirandish M., Ghahreman N., and Bazrafshan J. 2014. A study of the effects of climate change on length of growing season in several climatic regions of Iran. Iranian Journal of Soil and Water Research 44(2): 143-150. (In Persian)
16- Kiani S., Shahraki J., Akbari A., and Sardar Shahraki A. 2020. The effect of climate change on Iran's agricultural production: A case study of Wheat crop. Applied Field Crops Research 32(04): 109-127. (In Persian with English abstract)
17- Koocheki A. 2002. Crop Production in Dry Regions. Mashhad Jahad Daneshgahi Press, Mashhad.
18- Koocheki A., Nassiri M., Kamali G.A., and Shahandeh H. 2006. Potential impacts of climate change on agrometeorological indicators in Iran. Arid Land Research and Management 20(3): 245-259.
19- Linderholm H.W. 2006. Growing season changes in the last century. Agricultural and Forest Meteorology 137: 1–14.
20- Liu X., Yin Z., Shao X., and Qin N. 2006. Temporal trends and variability of daily maximum and minimum, extreme temperature events, and growing season length over the estern and central Tibetan Plateau during 1961-2003. Journal of Geophysical Research 111(D19): 1–19.
21- Lobell D.B., Schlenker W., and Costa-Roberts J. 2011. Climate trends and global crop production since 1980. Science 333: 616-620.
22- Masoodian S.A., and Darand M. 2014. Recognition and analysis of agro climatic indices changes in Iran. Geographical Researches 29(2): 39-50. (In Persian)
23- Mirdrikvand F., Nasiri B., and Karampour M. 2017. The effect of climate change on the length of growing season of wheat in Lorestan province (A case study of Khorramabad, Boroujerd and Doroud stations). In: Proceedings of 5th natioal & 1st international conference on organic vs. conventional agriculture, 16-17 Aug. University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
24- Morovat S., Ebrahimi H., and Bakhsh Kelarestaghi K. 2013. Evaluate conditions climate change and effect of that upon farming calendar implant of Wheat in Mashhad. New Finding in Agriculture 7(4): 341-356. (In Persian)
25- Mozaffari G., and Torki M. 2010. Surveying about trend of variations of growth season's length in Iran. Geographic Thought 4(8): 24-43. (In Persian)
26- Mozaffari G., and Dehghan H. 2013. Zoning the length of growing period based on temperature characteristics in Iran. Journal of Geography and Regional Development 11(21): 121-137. (In Persian)
27- Mozaffari G., Fatemi M., and Dehghan H. 2019. Zonation and estimation of the trend of the thermal unit of growing season due to temperature changes, Iran. Physical Geography Research Quarterly 50(4): 731-746. (In Persian)
28- Pathak T.B., Maskey M.L., Dahlberg J.A., Kearns F., Bali K.M., and Zaccaria D. 2018. Climate change trends and impacts on California agriculture: A detailed review. Agronomy, 8, 25.
29- Rasooli S.J., and Ghaemi A.R. 2012. Canola cultivation area dividing about climatic temperature needs used GIS in Khorasan provinces. Journal of Crop Production 3(1): 121-138. (In Persian with English abstract)
30- Robeson S.M. 2002. Increasing growing-season length in Illinois during the 20th century. Climatic Change 52: 219- 238.
31- Serrano A., Mateos V.L., and Garcia J.A. 1999. Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921-1995. Physics and Chemistry of the Earth, Part (B) 24(1-2): 85-90.
32- Sharma P., Singh M., Bhardwaj S.K., and Bhatia H.S. 2019. Impact of accumulated growing degree days (GDD) on phenology of apple (*Malus domestica* Borkh) in Kullu district of Himachal Pradesh. Pharma Innovation 8(6): 850-854.
33- Shokouhi M. 2019. Evaluation of the impact of climate change on temperature and precipitation of rainfed wheat production in Kurdistan province. Journal of Agricultural Meteorology 7(1): 22-35. (In Persian with English abstract)
34- Tao F., Yokozawa M., Xu Y., Hayashi Y., and Zhang Z. 2006. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981–2000. Agricultural and Forest Meteorology 138: 82-92.
35- Weikai Y., and Hunt L.A. 1999. An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. Annals of Botany 84(5): 607–614.
36- Wypych A., Sulikowska A., Ustrnul Z., and Czekierda D. 2017. Variability of growing degree days in Poland in response to ongoing climate changes in Europe. International Journal of Biometeorology 61: 49–59.
37- Yasari T., and Shahsavari M.R. 2013. Growing degree days zoning of developmental stages of spring Safflower in Isfahan province. Journal of Crop Production and Processing 3(8): 61-71. (In Persian)
38- Yazdanpanah H., Ebrahimi R., and Taghavi nia F. 2017. The introduction of a new system of zoning Iran the cooling needs in the coming decade. Journal of Climate Research 1396(29): 125-139. (In Persian)
39- Yin Y., Deng H., and Wu S. 2019. Spatial-temporal variations in the thermal growing degree-days and season under climate warming in Chaina during 1960-2011. International Journal of Biometeorology 63(5): 649-658.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 4, Sep.-Dec. 2021, p. 599-612

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۴، مهر – آبان ۱۴۰۰، ص. ۶۱۲-۵۹۹

Investigating the Variability of Growing Season Length and Growing Degree-Days of Crops in Elevated and Coastal Areas

S.F. Ziaeiasl[1]- A.A. Sabziparvar[2]*
Received: 11-04-2021
Accepted: 22-06-2021

Introduction: It is possible to guide the agricultural experts to achieve a suitable genotype and adapt to climatic conditions in proportion to the length of the modified growing season by identifying the impact of climate change in recent years on the cumulative rate of degree-days of plant growth. This will prevent the waste of capital and agricultural inputs and ultimately prevent the reduction of the final crop due to the mismatch of genotype-crop with the current climate. In the present study, an attempt has been made to study and compare the trend in the start and end of the growing season, the growing season length (GSL), and growing degree-days(GDD) during 1959-2018 in the elevated and coastal areas of Iran.

Materials and Methods: For this study, the daily temperature of 27 synoptic stations were used including 19 stations in elevated areas and 8 stations in coastal areas during 1959-2018. The first day with a minimum daily temperature equal to or greater than 0, 5, and 10 °C was considered as the start of the growing season (SGS). Moreover, the first day after the start of the growing season which has a minimum daily temperature of less than 0, 5, and 10 °C was considered as the end of the growing season (EGS). Trend analysis was performed in time series of GSL and GDD based on thresholds of 0, 5, and 10 °C using the Mann-Kendall test. To compare the results, the statistical period of 60 years was divided into two periods of 30 years (1959-1988 and 1989-2018). In both periods, the statistical characteristics of the GSL and GDD based on the three thresholds mentioned in coastal and elevated areas were surveyed and compared. In this study, deviation from the mean was used to complete the study of changes in the GSL. This index shows the scatter of data around the mean.

Results and Discussion: The GSL extension came from both the advance in SGS and the delay in EGS. Comparison results of the two 30-year periods (1959-1988 and 1989-2018) showed that during 1989-2018, in most stations the GSL has increased. During this period, based on 0 °C, the earliest and latest SGS were on February 24 and April 30 in Yazd and Shahrekord, respectively. Accordingly, the earliest and latest EGS were on October 15 and December 11 in Shahrekord and Gorgan, respectively. Based on 5 °C, the earliest and latest SGS were on February 10 and June 2 in Abadan and Gorgan, respectively. Accordingly, the earliest and latest EGS on September 17 and December 6 were at Shahrekord, Bam, and Abadan, respectively. Based on 10 °C, the earliest and latest SGS was on February 11 and June 20 at stations, respectively. Accordingly, the earliest and latest EGS were on August 27 and December 8 in Shahrekord and Bushehr, respectively. The shortest and longest GSLs based on all three thresholds of 0, 5, and 10 °C were Shahrekord and Bandar Abbas, respectively. The highest and lowest coefficient of variation of GSL were 20.8% in Zanjan and 4.9% in Bandar Abbas, respectively. Based on 0, 5, and 10 °C, the lowest GDDs in GSL are 3233, 1767, and 880 °C.d, respectively, and all of them were obtained at Shahrekord. On the other hand, the highest GDD_0, GDD_5, and GDD_{10} in GSL were 6783, 7372, and 5761 °C.d, respectively, in Yazd, Abadan, and Bandar Abbas. The most significant trend in GSL was in Zanjan, Zahedan, and Khorramabad.

Conclusion: Examination of changes in the GSL indicates the existence of a significant trend in a limited number of stations. Also, with increasing the threshold from 0 to 5 and from 5 to 10 °C, there is a significant decreasing trend in more stations. At the threshold of 10 °C a significant and decreasing trend of GSL was observed in Urmia, Sanandaj, Khorramabad, Birjand, and Bandar Abbas stations, In following, a significant increasing trend was observed in Tabriz, Tehran, Kermanshah, Isfahan, Yazd, and Bushehr stations. The results of the studies showed fewer changes in the time series of the GSL based on thresholds of 0 and 5 °C in the statistical period of 1989-2018. On the other hand, the results showed that the GSL trend is significant in more stations in the recent period based on the threshold of 10 °C. Deviation from the average GSL in coastal areas was greater than the elevated areas so that the GSL based on 10 °C in both areas increased with greater slope and

1 and 2- Ph.D. Candidate and Professor in Meteorology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: swsabzi@basu.ac.ir)
DOI: 10.22067/JSW.2021.69480.1041

continuity. This increasing trend of deviation from the average in the coastal areas from the early '70s and the elevated areas from the early '90s and continues until now. In this regard, Bandar Abbas station and then Bushehr station had the longest GSL, and Shahrekord station had the shortest GSL among other stations which has been studied. Comparison of GDDs of the GSL during 1989-2018 showed the decrease of GDDs from south to north and from west to east of the country. Accordingly, in the southern stations of the country, the conditions for tropical plants (threshold of 10 °C) have become more suitable than the cold stations of the west and northwest, Time series analysis of the average annual GDDs based on the three thresholds during 1989-2018 showed a significant increasing (positive) trend in 93% of the stations. During the second 30-years period, Shahrekord and Shiraz stations did not show a significant trend in all three mentioned thresholds. However, the analysis of the annual average of GDDs during 1959-1988 showed the trend in 41% of the stations. According to the results of this study, it can be concluded that in cold regions, due to the increase in GDDs, the supply of cooling units for plants with certain cooling needs is more difficult. In the south of the country, as the total required GDD is achieved earlier, the GSL gets shorter, and therefore less dry biomass will accumulate in the product. This likely leads to a reduction in crop yields in this part of the country.

Keywords: Climate change, Mann-Kendall test, Temperature thresholds, Thermal heat units, Trend analysis